

PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



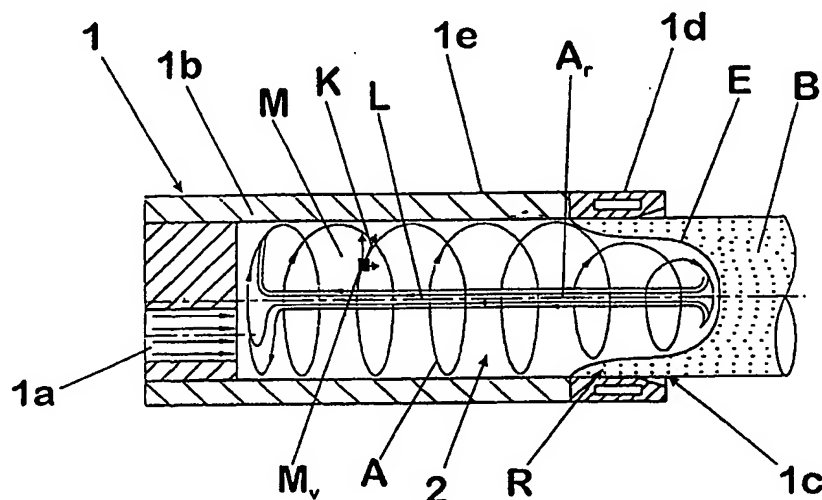
(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : B22D 11/10	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/12678 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 18. März 1999 (18.03.99)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP98/05522 (22) Internationales Anmeldedatum: 1. September 1998 (01.09.98) (30) Prioritätsdaten: 197 38 821.3 5. September 1997 (05.09.97) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): ELO THERM GMBH [DE/DE]; Hammesberger Strasse 31, D-42855 Remscheid (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): JÜRGENS, Robert [DE/DE]; Ölmühle 11e, D-42853 Remscheid (DE). (74) Anwalt: COHAUSZ & FLORACK; Kanzlerstrasse 8a, D-40472 Düsseldorf (DE).		(81) Bestimmungsstaaten: BR, CA, JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>

(54) Title: DEVICE FOR THE ELECTROMECHANICAL AGITATION OF A MOLTEN METAL BATH

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUM ELEKTROMAGNETISCHEN RÜHREN EINER METALLSCHMELZE

(57) Abstract

The invention relates to a device for electromechanically agitating a molten metal bath (M), especially a molten aluminium alloy bath. The device comprises a housing (1) which can be filled with the molten metal (M) in a liquid state and the molten metal (M) which is cast in the housing (1) exits later on in an at least partially solidified state. The device also comprises a first multiphase current driven induction unit which generates a first electromagnetic field travelling along the longitudinal axis (L) of the housing (1). The device further comprises a second multiphase current driven induction unit for adequate material exchange and also adequate levelling of temperature gradient in a thixotropic molten metal bath. The second induction unit superimposes on the first magnetic field a second magnetic field which rotates around the longitudinal axis (L) of the housing (1).



(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum elektromagnetischen Rühren einer Metallschmelze (M), insbesondere einer Aluminium-Legierung-Schmelze, mit einem Gehäuse (1), in welches die Metallschmelze (M) im flüssigen Zustand einfüllbar ist und welches die in das Gehäuse (1) eingegossene Metallschmelze (M) im zumindest teilweise erstarrten Zustand verläßt, und mit einer ersten mit einem mehrphasigen Strom gespeisten Induktionseinrichtung, welche ein erstes entlang der Längsachse (L) des Gehäuses (1) wanderndes elektromagnetisches Feld erzeugt. Bei einer erfindungsgemäßen Vorrichtung dieser Art ist für einen ausreichenden Materialaustausch und eine ebenso ausreichende Vergleichmäßigung des Temperaturverlaufs in einer thixotropen Metallschmelze eine zweite mit einem mehrphasigen Strom gespeiste Induktionseinrichtung vorgesehen, welche dem ersten elektromagnetischen Feld ein zweites elektromagnetisches Feld überlagert, das um die Längsachse (L) des Gehäuses (1) rotiert.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

**Vorrichtung zum elektromagnetischen
Rühren einer Metallschmelze**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum elektromagnetischen Rühren einer Metallschmelze, insbesondere einer Aluminium-Legierung-Schmelze, mit einem Gehäuse, in welches die Metallschmelze im flüssigen Zustand einfüllbar ist und welches die in das Gehäuse eingegossene Metallschmelze im zumindest teilweise erstarrten Zustand verläßt, und mit einer ersten mit einem mehrphasigen Strom gespeisten Induktionseinrichtung, welche ein erstes entlang der Längsachse des Gehäuses wanderndes elektromagnetisches Feld erzeugt. Eine derartige Vorrichtung ist beispielsweise aus der europäischen Patentschrift EP 0 439 981 B1 bekannt, deren deutsche Übersetzung die Nummer DE 690 12 090 T2 erhalten hat.

Thixotrope Metallegierungen, bei denen es sich insbesondere um Aluminium-Legierungen handelt, haben eine Primärphase, die eine globulitische Struktur aufweist. Diese Struktur wird hergestellt, indem die noch flüssige Metallschmelze vor dem Erstarren elektromagnetisch gerührt wird. Das Rühren der Metallschmelze erfolgt dabei in einem Gehäuse, das in der Regel im Bereich seiner Eingießöffnung einen wärmeisolierten Warmabschnitt und einen in Richtung seiner Austrittsöffnung sich daran anschließenden, gekühlten Kaltabschnitt aufweist. Im Warmabschnitt ist die Metallschmelze flüssig, während sie im Kaltabschnitt beginnend mit den an die Wandung des Gehäuses angrenzenden Flächen derart erstarrt, daß das

Metall als aufgrund der Erstarrung seiner Außenhaut formstabiler Körper in einem kontinuierlich durchgeführten Arbeitsgang aus dem Gehäuse abgezogen werden kann. Im Inneren des Bolzens liegt über einen bestimmten Längenabschnitt noch flüssige Metallschmelze vor, wobei die Erstarrungsfront, an der die flüssige Metallschmelze an das schon erstarrte Metall angrenzt, im Schnitt einen tulpenförmigen Verlauf aufweist.

Durch das elektromagnetische Rühren der Metallschmelze wird das flüssige Metall in Bewegung versetzt. Diese Bewegung der Schmelze führt dazu, daß an der Erstarrungsfront im Erstarren begriffene Partikel, sog. "Dendriten", von dem erstarrten Metall abgesichert werden. Die abgesicherten Partikel werden durch die Bewegung der Schmelze in den flüssigen Bereich der Schmelze zurücktransportiert, wo sie teilweise erneut aufschmelzen. Durch diesen Materialabtrag wird verhindert, daß sich an der Erstarrungsfront Dendriten von übermäßig großem Durchmesser bilden. Darüber hinaus soll durch Materialaustausch von heißer und kalter Schmelze eine möglichst gleichmäßige Temperaturverteilung im Bereich der Erstarrungsfront erreicht werden, um ein erstarrtes Metall zu erhalten, welches eine möglichst homogene, gleichförmige Struktur besitzt.

Bei der bekannten, in der EP 0 439 981 B1 beschriebenen Vorrichtung erzeugt die Induktionseinrichtung ein elektromagnetisches Feld, welches parallel zur Längsachse der Form wandert. Aufgrund der durch das elektromagnetische Feld auf die Metallschmelze einwirkenden Kräfte wird die Schmelze in einer transversalen Bewegung entlang der Längsachse des Gehäuses bewegt. In Abhängigkeit von der

Fortpflanzungsrichtung des elektromagnetischen Feldes stellt sich dabei beispielsweise eine Strömung ein, die im Bereich der Gehäusewände in Richtung der Erstarrungsfront strömt. Diese Strömung wird an der Erstarrungsfront zur Längsachse des Gehäuses umgelenkt, wobei der gewünschte Effekt des Abscherens der Dendriten eintritt. Die so umgelenkte Strömung strömt im zentralen Kernbereich der Schmelze entlang der Längsachse des Gehäuses in Richtung der Gehäuse-Eingießöffnung zurück, und zwar entgegengesetzt zu der Strömung im Bereich der Gehäusewände. Auf diese Weise entsteht ein Kreislauf, der dazu führt, daß immer wieder an der Erstarrungsfront abgeschertes Material zurück in den wärmeren Bereich des Gehäuses transportiert und dort aufgeschmolzen wird.

In der Praxis hat sich gezeigt, daß mit der voranstehend beschriebenen Rührmethode zwar eine Vergleichmäßigung des Temperaturverlaufs im Bereich der Erstarrungsfront erreicht wird, daß aber die Strömungsgeschwindigkeit der Schmelze nicht ausreicht, um Dendriten mit sehr kleinem Durchmesser abzuscheren. Dies ist selbst dann der Fall, wenn, wie in der europäischen Patentschrift EP 0 351 327 B1 vorgeschlagen, die Zeit, innerhalb der ein Übergang von der heißen Zone zur kalten Zone des Gehäuses stattfindet, auf ≤ 1 Sekunde beschränkt wird.

Alternativ zu den voranstehend erläuterten, eine transversale Bewegung der Schmelze bewirkenden Rührvorrichtungen werden Vorrichtungen zum Rühren eingesetzt, die eine Rotationsbewegung der Schmelze durch ein elektromagnetisches Drehfeld erzeugen. Derartige Vorrichtungen sind beispielsweise in der deutschen Patentschrift DE 30 06 618 C2 und der deutschen Patentschrift DE 30 06 588 C2 beschrieben. Beim Einsatz

eines derartigen Rührers rotiert die Schmelze insbesondere in den an die Wandflächen des Gehäuses angrenzenden Bereich mit einer hohen Geschwindigkeit um die Längsachse des Gehäuses, wodurch eine relativ hohe Abscherrate an der Erstarrungsfront erzielt werden kann. Es ist jedoch festgestellt worden, daß sich bei einem derartigen Rührvorgang keine ausreichende Vergleichmäßigung der Kornverteilung über den Querschnitt einstellt, um die geforderten hohen Qualitäten des erstarrten Metallwerkstoffs sicher zu erreichen.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Vorrichtung zu schaffen, mit der sich bei einem ausreichenden Materialaustausch eine ebenso ausreichende Vergleichmäßigung des Temperaturverlaufs in einer thixotropen Metallschmelze bewerkstelligen läßt.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung der eingangs genannten Art gelöst, welche durch eine zweite mit einem mehrphasigen Strom gespeiste Induktionseinrichtung gekennzeichnet ist, die dem ersten elektromagnetischen Feld ein zweites elektromagnetisches Feld überlagert, das um die Längsachse des Gehäuses rotiert.

Erfindungsgemäß wirken zwei einander überlagerte elektromagnetische Felder gleichzeitig auf die in das Gehäuse der Vorrichtung eingefüllte Schmelze ein, und zwar eines, welches sich im wesentlichen achsparallel zur Längsachse des Gehäuses fortpflanzt und eines, welches um die Längsachse rotiert. Aufgrund dieser Überlagerung der elektromagnetischen Felder wirkt auf die Schmelze eine elektromagnetische Kraft ein, durch welche die Schmelze in eine Bewegung versetzt wird, die einer wendelförmigen, "helikoidalen" Bewegungsbahn folgt. Die Achse, um die

herum diese Bewegungsbahn sich windet, fällt im wesentlichen mit der Längsachse des Gehäuses zusammen. Dabei ist die Geschwindigkeit der Schmelze an ihren äußeren, den Wänden des Gehäuses zugeordneten Rändern am größten. Auf diese Weise hat die bewegte Schmelze eine so hohe Umfangsgeschwindigkeit, daß im Bereich der Erstrarrungsfront in großen Mengen sich dort bildende Dendriten abgeschert werden.

Da die der Schmelze aufgezwungene Bewegung jedoch nicht nur auf eine Rotationsbewegung beschränkt ist, sondern gleichzeitig auch eine transversale Bewegungskomponente vorhanden ist, strömt die noch flüssige, bewegte Schmelze in achsialer Richtung gegen die Erstarrungsfront. Dort wird sie, wie bei der eingangs beschriebenen Vorrichtung, umgelenkt und strömt, einen Kreislauf ausbildend, im Zentrum der Schmelze längs der Achse des Gehäuses zurück. Dieses Umlenken und Rückströmen der Schmelze führt zu einer Vergleichmäßigung des Temperaturverlaufs im Bereich der Erstarrungsfront. Auf diese Weise wird mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung nicht nur ein hoher Materialaustausch, sondern auch die für das Entstehen eines hochwertigen Gefüges gewünschte Temperaturverteilung im Bereich der Erstarrungsfront erreicht.

Eine besonders bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung ist durch mindestens eine Steuereinrichtung gekennzeichnet, welche mit mindestens einer der Induktionseinrichtungen verbunden ist und mittels derer die Arbeitsfrequenz und/oder die Stärke des Stroms der betreffenden Induktionseinrichtung variierbar ist. Eine solche Steuereinrichtung ermöglicht es, durch eine ergänzend oder alternativ durchgeführte Variation der

Arbeitsfrequenz und des Stroms die Strömungsgeschwindigkeit im Randbereich des Rührergehäuses und an der Erstarrungsfront direkt zu beeinflussen. So führt beispielsweise ein Absenken der Arbeitsfrequenz im Zentrumsbereich der Schmelze zu einer Verengung des Kanals, über den die Schmelze von der Erstarrungsfront zurückströmt. Auf diese Weise wird der Rückstrom abgebremst und damit einhergehend sowohl die Geschwindigkeit des Materialaustauschs zwischen der kalten und warmen Zone des Gehäuses als auch die Geschwindigkeit vermindert, mit der ein Temperatúraustausch im Bereich der Erstarrungsfront stattfindet. Durch eine mit der Veränderung des Stromes einhergehenden Veränderung der Feldamplitude ist der Schlupf, d.h. der Nachlauf, zwischen der Umfangsgeschwindigkeit des elektromagnetischen Feldes und der Schmelze einstellbar. Auf diese Weise lassen sich die auf die Dendriten im Bereich der Erstarrungsfront einwirkenden Scherkräfte einstellen.

Grundsätzlich ist es möglich, jeder Induktionseinrichtung jeweils eine Steuereinrichtung zuzuordnen. Dies ermöglicht die unabhängige Steuerung von Strom und Frequenz jeder Induktionseinrichtung, so daß die Charakteristik des von der jeweiligen Induktionseinrichtung erzeugten Feldes direkt verändert werden kann.

Alternativ und bevorzugter Weise können die Induktionseinrichtungen jedoch auch gemeinsam mit einer einzigen Steuereinrichtung verbunden sein. Bei einer derartigen Verkopplung der Induktionseinrichtungen ist auf einfache und kostengünstige Weise sichergestellt, daß die Einstellungen von beispielsweise Frequenz und Strom

beider Induktionseinrichtungen stets in der im Hinblick auf die gewünschte Bewegung der Schmelze günstigsten Weise aufeinander abgestimmt sind. Über die gemeinsame Steuereinrichtung kann ebenfalls durch eine geeignete Wahl von Arbeitsfrequenz und Stromstärke der in Umfangs- und der in Achsrichtung wirkende Teil der auf die Metallschmelze einwirkenden Kraft beeinflußt werden.

Eine praxisgerechte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Induktionseinrichtungen eine Mehrzahl von Spulen aufweisen, welche in Gruppen den Phasen einer Drehstromversorgung zugeordnet sind, daß die Spulen einer Gruppe in Reihe geschaltet sind, und daß sowohl die Phasenfolge als auch der Wickelsinn der aufeinanderfolgenden Spulen einer Gruppe alterniert.

Im Hinblick auf eine einfache Herstellbarkeit ist es günstig, wenn die erste Induktionseinrichtung eine Mehrzahl von im wesentlichen achsparallel zu der Längsachse des Gehäuses gewickelten und in gleichen Winkelabständen um die Längsachse verteilt angeordneten Spulen umfaßt und wenn die zweite Induktionseinrichtung eine gleiche Anzahl von Spulen umfaßt, die in normal zur Längsachse des Gehäuses angeordneten und in gleichen achsialen Abständen voneinander beabstandeten Ebenen um das Gehäuse gewickelt sind.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand einer ein Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung näher erläutert. Es zeigen in schematischer Ansicht:

Fig. 1 eine Vorrichtung zum Rühren einer aus einer Aluminium-Legierung bestehenden Metallschmelze im Querschnitt;

Fig. 2 das innere Gehäuse der Vorrichtung ausschnittsweise in einem Längsschnitt;

Fig. 3 die Verschaltung der in der Vorrichtung eingesetzten Spulen;

Fig. 4 die Vorrichtung mit den sich in ihr einstellenden Strömungen im Querschnitt.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Rühren einer Metallschmelze M ist mit einem inneren, zylinderförmigen Gehäuse 1 ausgestattet, welches aus unmagnetischem Stahl hergestellt ist. Das Gehäuse 1 umfaßt einen Innenraum 2, in welchen die Metallschmelze M über eine einem nicht gezeigten Tundish zugeordnete Einfüllöffnung 1a eingefüllt wird. Der Innenraum 2 ist in einen sich an die Einfüllöffnung 1a anschließenden Warmabschnitt 1b und einen der Austrittsöffnung 1c zugeordneten Kaltabschnitt 1d unterteilt. Im Bereich des Warmabschnitts 1b weist das Gehäuse 1 eine geringe Wärmeleitfähigkeit auf, während im Kaltabschnitt 1d eine Kühlung vorgesehen ist. Auf diese Weise bleibt die Metallschmelze M nach ihrem Einfüllen in den Innenraum 2 zunächst fließfähig und wird vor ihrem Austritt aus der Austrittsöffnung 1c so weit abgekühlt, daß ein Metallbolzen B mit thixotropen Eigenschaften als fester Körper in einem kontinuierlichen Vorgang aus der Vorrichtung abgezogen werden kann. Dabei geht das Erstarren der Metallschmelze M von den der Gehäusewand 1e

zugeordneten Randbereichen R der Schmelze M aus, während die Metallschmelze M im Bereich ihres der Längsachse L des Gehäuses 1 zugeordneten Zentrums zunächst fließfähig bleibt. Es bildet sich so im Bereich des Kaltabschnitts 1d eine Erstarrungsfront E, die einen im Querschnitt tulpenförmigen Verlauf aufweist.

Auf der Außenseite der Gehäusewand 1e sind in gleichen Abständen zueinander beabstandet sechs Ringnuten 3,4,5,6,7,8 eingeformt. In jeder der Ringnuten 3-8 liegt jeweils eine Zylinderspule 9,10,11,12,13,14 ein, welche gegenüber der Gehäusewand 1e durch geeignete Mittel isoliert sind.

Auf das Gehäuse 1 aufgesetzt ist ein Blechpaket 15, welches aus einer Vielzahl von miteinander verklebten, im einzelnen nicht dargestellten Elektroblechen gebildet ist. Jedes der Elektrobleche weist hierzu eine zentrale, den Abmessungen und der Querschnittsform des Gehäuses 1 mit den Zylinderspulen 9-14 angepaßte Öffnung auf, welche bei auf das Gehäuse 1 aufgesetztem Blechpaket 15 das Gehäuse 1 aufnimmt. Zusätzlich ist jedes Elektroblech mit sechs in gleichen Winkelabständen angeordneten Zähnen ausgestattet, welche ausgehend von einem Umfangsabschnitt in Richtung der Öffnung der Elektrobleche weisen. Die Zähne der einzelnen Elektrobleche bilden gemeinsam die bei auf das Gehäuse 1 aufgesetztem Blechpaket 15 in Richtung des Gehäuses 1 weisenden Zähne 16 des Blechpakets 15, auf denen jeweils eine sich achsparallel zur Längsachse L des Gehäuses 1 sich erstreckende Blockspule 17,18,19,20,21,22 gewickelt ist.

Ein äußeres, aus unmagnetischem Stahl gefertigtes Gehäuse 23 schützt die Spulenanordnungen, das Gehäuse 1 und die

sonstigen, hier nicht gezeigten und erläuterten Einrichtungen der Vorrichtung gegen äußere Einflüsse.

Von den insgesamt zwölf Spulen (sechs Zylinderspulen 9-14, sechs Blockspulen 17-22) der Vorrichtung sind jeweils vier zu einer Gruppe S_1 , S_2 bzw. S_3 zusammengefaßt. So sind der Gruppe S_1 die Zylinderspulen 9 und 12 und die Blockspulen 17 und 20, der Gruppe S_2 die Zylinderspulen 10 und 13 und die Blockspulen 18 und 21 und der Gruppe S_3 die Zylinderspulen 11 und 14 und die Blockspulen 19 und 22 zugeordnet. Jede Gruppe S_1 , S_2 , S_3 ist mit jeweils einer Phase L_1 , L_2 , L_3 einer weiter nicht dargestellten Drehstromversorgung verkoppelt.

Die den Gruppen S_1 , S_2 , S_3 zugeordneten Spulen 9,12,17,20; 10,13,18,21 bzw. 11,14,19,22 sind jeweils in Reihe geschaltet. Um ein gleichförmiges Drehfeld erzeugen zu können, alternieren sowohl die Phasenfolge als auch der Wickelsinn aufeinander folgender Spulen 9,12,17,20; 10,13,18,21 bzw. 11,14,19,22 einer Gruppe S_1 , S_2 , S_3 . Es ergibt sich somit folgende Spulenfolge:

Phase L_1 : (Z9)+; (Z4)-; (B17)+; (B20)+; Sternpunkt

Phase L_2 : (Z10)-; (Z13)+; (B18)-; (B21)+; Sternpunkt

Phase L_3 : (Z11)+; (Z14)-; (B19)+; (B22)-; Sternpunkt

wobei mit Z9-Z14 die Zylinderspulen 9-14, mit B17-B22 die Blockspulen 17 bis 22, mit + der äußere und mit - der innere Anschluß des jeweiligen Wickels der Spulen 9-14,17-22 bezeichnet sind. Eine Feldrichtungsumkehr erfolgt durch Vertauschen der Phasen L_1 und L_3 .

Der elektrische Strom jeder Phase L_1 , L_2 , L_3 durchfließt entsprechend der voranstehend erläuterten Spulenfolge die

Spulen 9,12,17,20; 10,13,18,21 bzw. 11,14,19,22 derjenigen Gruppe S_1 , S_2 , S_3 , die der jeweiligen Phase L_1 , L_2 , L_3 zugeordnet ist. Durch die Überlagerung der elektromagnetischen Felder aller Spulen 9-14;17-22 entsteht dabei ein Wanderfeld, dessen örtliches Amplitudenmaximum in dem an die Gehäusewand 2 angrenzenden Randbereich R der Schmelze wendelförmig ("helikoidal") verläuft. Die Geschwindigkeit v , mit der sich das Wanderfeld fortpflanzt, ergibt sich aus der Gleichung

$$v = \sqrt{\delta^2 \cdot d^2 + 4\delta_{zy1}^2} \cdot f$$

mit d = Durchmesser des Innenraums 1a;
 τ_{zy1} = Polteilung der Zylinderspulen;
 f = Arbeitsfrequenz.

Die von dem Wanderfeld W in der Metallschmelze M erzeugte Kraft K bewirkt eine Makroströmung A der Metallschmelze M, die sich im Randbereich R wendelförmig um die Längsachse L des Gehäuses 1 windet. Die in Umfangsrichtung des Gehäuses 1 gerichtete Geschwindigkeitskomponente der Makroströmung A ist größer als die achsparallel zur Längsachse L ausgerichtete Komponente. Eine Volumeneinheit M_v der Metallschmelze M läuft daher der Makroströmung A folgend mehrfach um die Längsachse L, bis sie die Erstarrungsfront E erreicht.

An der Erstarrungsfront E wird die Makroströmung A umgelenkt, so daß sie entlang der Erstarrungsfront E strömt. Dabei werden aufgrund der hohen Umfangsgeschwindigkeit sich an der Erstarrungsfront E bildende Dendrite abgeschert. Im Bereich des mit der Längsachse L des Gehäuses 1 zusammenfallenden Zentrums

der Metallschmelze M kommt es dann zu einer Rückströmung A_r , welche entlang der Längsachse L in Richtung der Einfüllöffnung 1a strömt. Im Bereich der Einfüllöffnung 1a geht die Rückströmung A_r wieder in die wendelförmige Makroströmung A über, so daß ein geschlossener Kreislauf gebildet ist.

Durch die Wahl einer bestimmten Arbeitsfrequenz kann die Eindringtiefe des elektromagnetischen Feldes in die Metallschmelze M eingestellt werden. Bei einer niedrigen Frequenz ist diese Eindringtiefe größer als bei einer hohen. Wird beispielsweise eine niedrige Arbeitsfrequenz eingestellt, so wird aufgrund der größeren Eindringtiefe der mit der Makroströmung A bewegte Anteil der Metallschmelze M größer. Dementsprechend ist der für die Rückströmung A_r zur Verfügung stehende Querschnitt im Zentrum der Metallschmelze M verringert, so daß die Fließgeschwindigkeit der Rückströmung A_r abnimmt. Dies wiederum hat zur Folge, daß auch die in Achsrichtung gerichtete Geschwindigkeitskomponente der Makroströmung A und damit die Steigung der wendelförmigen Bewegungsbahn der Makroströmung A abnimmt.

Die in Umfangsrichtung gerichtete Geschwindigkeitskomponente der Makroströmung A kann durch eine Veränderung der Amplitude des Stroms beeinflusst werden, da durch eine Veränderung der Stromamplitude der Schlupf zwischen der Feldwelle und der Makroströmung A direkt beeinflusst wird. Ein Anheben des Stromes verringert beispielsweise den Schlupf, so daß durch eine Erhöhung des Stromes eine Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit der Makroströmung A erreicht wird.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Vorrichtung zum elektromagnetischen Rühren einer Metallschmelze (M), insbesondere einer Aluminium-Legierung-Schmelze, mit einem Gehäuse (1), in welches die Metallschmelze (M) im flüssigen Zustand einfüllbar ist und welches die in das Gehäuse (1) eingegossene Metallschmelze (M) im zumindest teilweise erstarrten Zustand verläßt, und mit einer ersten mit einem mehrphasigen Strom gespeisten Induktionseinrichtung, welche ein erstes entlang der Längsachse (L) des Gehäuses (1) wanderndes elektromagnetisches Feld erzeugt,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h eine zweite mit einem mehrphasigen Strom gespeiste Induktionseinrichtung, welche dem ersten elektromagnetischen Feld ein zweites elektromagnetisches Feld überlagert, das um die Längsachse (L) des Gehäuses (1) rotiert.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h mindestens eine Steuereinrichtung, welche mit mindestens einer der Induktionseinrichtungen verbunden ist und mittels derer die Arbeitsfrequenz und/oder die Stärke des Stroms der betreffenden Induktionseinrichtung variierbar ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, daß
jeder Induktionseinrichtung jeweils eine
Steuereinrichtung zugeordnet ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Induktionseinrichtungen gemeinsam mit einer
einzigen Steuereinrichtung verbunden sind.
5. Vorrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
 - daß die Induktionseinrichtungen eine Mehrzahl von
Spulen (9,10,11,12,13,14;17,18,19,20,21,22)
aufweisen, welche in Gruppen (S_1, S_2, S_3) den Phasen
(L_1, L_2, L_3) einer Drehstromversorgung zugeordnet
sind,
 - daß die Spulen (9-14;17-22) jeweils einer Gruppe
(S_1, S_2, S_3) in Reihe geschaltet sind, und
 - daß sowohl die Phasenfolge als auch der Wickelsinn
der aufeinanderfolgenden Spulen (9-14;17-22) einer
Gruppe (S_1, S_2, S_3) alterniert.

6. Vorrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- daß die erste Induktionseinrichtung eine Mehrzahl von im wesentlichen achsparallel zu der Längsachse des Gehäuses (1) gewickelten und in gleichen Winkelabständen um die Längsachse verteilt angeordneten Spulen (9-14) umfaßt und
 - daß die zweite Induktionseinrichtung eine Mehrzahl von Spulen (17-22) umfaßt, die in normal zur Längsachse (L) des Gehäuses (1) angeordnet und in gleichen achsialen Abständen voneinander beabstandeten Ebenen um das Gehäuse (1) gewickelt sind.

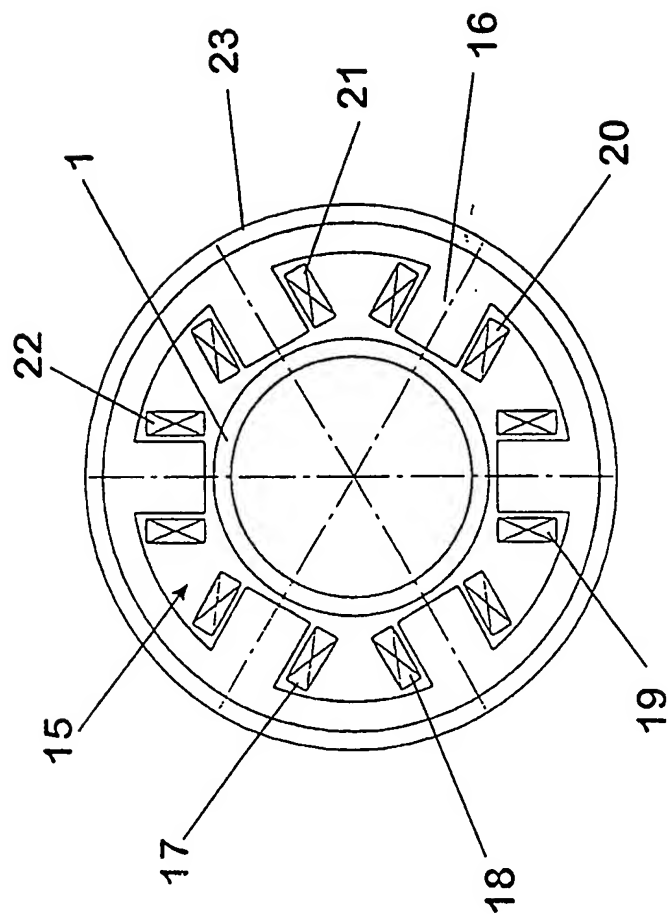


Fig. 1

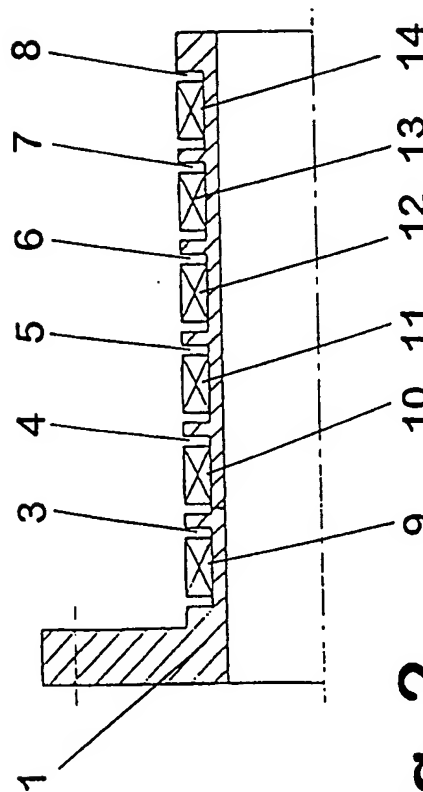


Fig. 2

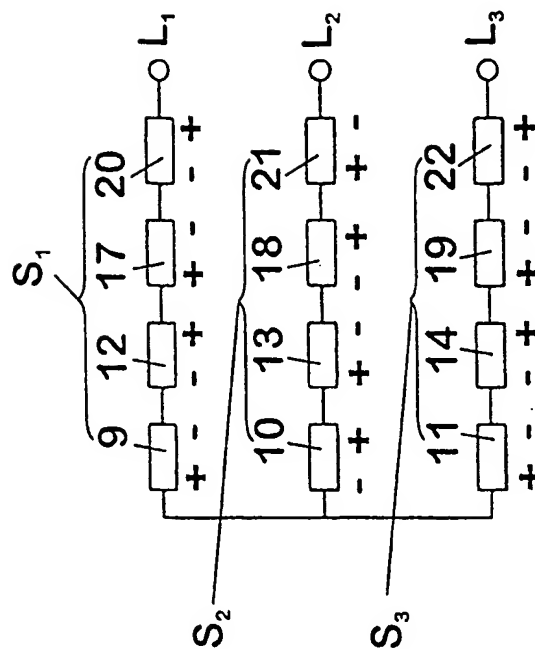


Fig. 3

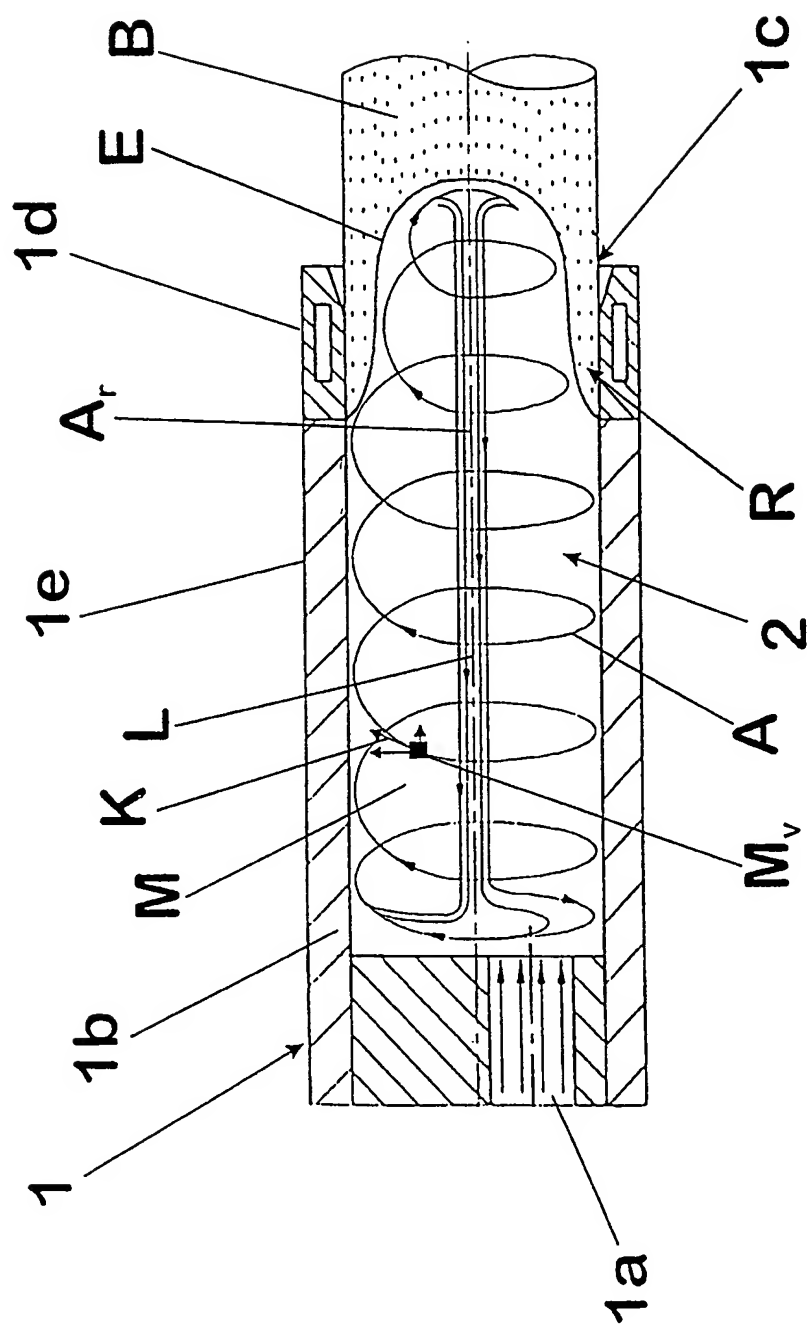


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 98/05522

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 B22D11/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 B22D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 321 958 A (DELIASSUS JEAN) 30 March 1982	1
Y	see abstract	2
X	DE 195 33 577 C (MANNESMANN AG) 24 October 1996 see claims	1
X	US 4 877 079 A (LONG LAWRENCE J ET AL) 31 October 1989 see claims	1
Y	DE 31 28 056 A (MANNESMANN AG) 3 February 1983 see abstract	2

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 December 1998

Date of mailing of the international search report

23/12/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

WOUDENBERG, S

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 98/05522

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4321958 A	30-03-1982	FR 2448247 A	29-08-1980
		AT 246 T	15-10-1981
		BR 8000516 A	14-10-1980
		CA 1138543 A	28-12-1982
		EP 0014636 A	20-08-1980
		JP 1481727 C	27-02-1989
		JP 55103263 A	07-08-1980
		JP 63022907 B	13-05-1988
DE 19533577 C	24-10-1996	AU 7124796 A	19-03-1997
		WO 9707911 A	06-03-1997
		EP 0850116 A	01-07-1998
US 4877079 A	31-10-1989	NONE	
DE 3128056 A	03-02-1983	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. Aktenzeichen

PCT/EP 98/05522

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 B22D11/10

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 B22D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 321 958 A (DELIASSUS JEAN) 30. März 1982	1
Y	siehe Zusammenfassung ---	2
X	DE 195 33 577 C (MANNESMANN AG) 24. Oktober 1996 siehe Ansprüche ---	1
X	US 4 877 079 A (LONG LAWRENCE J ET AL) 31. Oktober 1989 siehe Ansprüche ---	1
Y	DE 31 28 056 A (MANNESMANN AG) 3. Februar 1983 siehe Zusammenfassung -----	2

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

15. Dezember 1998

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

23/12/1998

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

WOUDENBERG, S

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Intern. Aktenzeichen

PCT/EP 98/05522

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4321958 A	30-03-1982	FR 2448247 A	29-08-1980
		AT 246 T	15-10-1981
		BR 8000516 A	14-10-1980
		CA 1138543 A	28-12-1982
		EP 0014636 A	20-08-1980
		JP 1481727 C	27-02-1989
		JP 55103263 A	07-08-1980
		JP 63022907 B	13-05-1988
DE 19533577 C	24-10-1996	AU 7124796 A	19-03-1997
		WO 9707911 A	06-03-1997
		EP 0850116 A	01-07-1998
US 4877079 A	31-10-1989	KEINE	
DE 3128056 A	03-02-1983	KEINE	